

## Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados no monitoramento e perícia ambiental de barragens no Estado de Goiás

Manuel Eduardo Ferreira

João Vítor Silva Costa

Universidade Federal de Goiás – UFG/IESA  
Laboratório Processamento de imagens e Geoprocessamento – LAPIG  
Campus II, Cx. Postal 131, CEP 74001-970, Goiânia - GO, Brasil  
{mferreira.geo, joaovsc17}@gmail.com

**Abstract.** The creation of small and medium size dams in river systems is a common practice in rural properties in Brazil, aiming to guarantee water resources for agricultural irrigation, power generation and vacation/sport activities. Most of these interventions are done without environmental license, nor technical accompaniment for their construction. This fact presents high risks for Brazilian society, such as those arising from recent and tragic events in Minas Gerais state (the case of the Fundão dam, in Mariana region) and in Goiás state (disturbance in dam at the municipality of Itaberaí). Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have been used to monitor such areas, before and after the geographic accidents, presenting as the best proposal between satellites and manned airplanes, due its high spatial resolution, price and mobility. Thus, this study aimed to evaluate the use of a UAV to evaluate the environmental damage of the dam break in Itaberaí - Goiás, which occurred in February 2016. The UAV used in this study was the Swinglet CAM from Sensefly, an electric microvane equipped with a 12.1 megapixel RGB digital camera. The results are very promising, enabling the generation of precise georeferenced orthomosaics and the identification of the permanent preservation areas damaged (26 hectares), the original area of the dam (48 hectares) and the total flooded area (76 hectares), favoring the process of forest restoration and the public supervision.

**Palavras-chave:** Remotely Piloted Aircraft System, dams failure, environmental analysis, Sistema de Plataforma Aérea Não Tripulada, rompimento de barragens, análise ambiental.

### 1. Introdução

O represamento artificial de rios e córregos é uma prática comum em propriedades rurais, visando garantir recursos hídricos para a irrigação de plantios agrícolas em larga escala, na manutenção de pastagens extensivas/dessedentação de animais (para o enfrentamento de estiagens mais severas, como no bioma Cerrado), geração de energia, e até mesmo para o lazer (ex. esportes aquáticos e pescaria), aliado a projetos paisagísticos em estabelecimentos comerciais em zona rural. Na maioria das vezes, esta prática é realizada sem autorização dos órgãos de controle e fiscalização competentes, tanto em nível estadual quanto federal, sendo passível de crime ambiental (Brancalion, et al., 2016). Os impactos decorrentes do barramento de cursos hidrográficos são inúmeros, a começar pelo próprio desmatamento da área a ser alagada (normalmente, composta espécies nativas em Áreas de Preservação Permanentes – APPs), alterações da fauna e flora local, interferências na vazão e na carga de sedimentos do canal, modificação da geomorfologia fluvial (a montante e a jusante), dentre outros processos nocivos ao meio ambiente como um todo.

Entretanto, o maior risco destas intervenções humanas está no rompimento das barragens, justamente por serem subdimensionadas para o tamanho do reservatório de água/sedimentos, sem o devido acompanhamento na construção ou mesmo na manutenção/monitoramento de margens e diques (Soriano e Valencio, 2009). Infelizmente, casos como o da barragem de Fundão, localizada no subdistrito de Bento Rodrigues, a 35 km do centro de Mariana-MG, que se rompeu no dia 5 de novembro de 2015, são bastante

comuns pelo interior do Brasil (ainda que, em geral, em menor grau de intensidade daquele ocorrido em MG, à época uma barragem de rejeitos de mineração controlada pela Samarco Mineração S.A., empreendimento sob responsabilidade de duas das maiores empresas de mineração do mundo, a brasileira Vale S.A. e anglo-australiana BHP Billiton).

Episódio semelhante ocorreu em um dos registros mais recentes e impactantes no Estado de Goiás, quando uma barragem de médio porte se rompeu no município de Itaberaí, a cerca de 100 km da capital Goiânia, no dia 20 de fevereiro de 2016, por volta do meio dia. Além de grande estrago na cobertura vegetal nativa e em áreas de cultivo a jusante da represa, a rodovia GO 070, que liga Goiânia ao referido município (e uma das principais vias de escoamento da produção agrícola para o norte do país) ficou completamente interditada por quase um mês. Falhas no projeto e na execução, além da falta de licenciamento ambiental, foram os principais motivos do acidente (Agência Brasil - EBC, 2016). Em março de 2016, no município de Santa Helena de Goiás, no sudoeste goiano, outro acidente com características semelhantes foi registrado, desta vez causando perda significativa da ictiofauna da região (inclusive de criadouros), devido ao grande volume de água e sedimentos carreados no rompimento da barragem (Portal G1, 2016). A figura 1 ilustra estes dois episódios. A própria Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SECIMA, 2016) afirma não ter conhecimento do número de barragens no estado (estima-se que 90% destes empreendimentos estejam ilegais), ainda que desde 2010 tenha-se licenciado 78 represas com até 20 hectares (garantidas por lei, se atendidas aos estudos de impacto ambiental).

Felizmente, o monitoramento e a fiscalização de reservatórios/barragens em zonas rurais já vem sendo feito com técnicas de sensoriamento remoto (normalmente orbital), associadas a incursões/levantamentos em campo (Botteon, 2016). Porém, dada a escala destas barragens (maioria não superior a 20 hectares) e a resolução espacial e temporal dos satélites/sensores com acesso público e gratuito, este monitoramento não é o mais eficiente. Por exemplo, se usarmos uma imagem Landsat 8 Oli, com resolução espacial nominal de 30 metros, a área mínima detectada é de 900 m<sup>2</sup> ou aproximadamente 0,1 ha. Num pixel do sensor MODIS (MOD13Q1, 250 metros), esta área equivale a 6,25 ha. Ainda que no Landsat o detalhamento seja significativamente maior do que no MODIS, a detecção de pequenas barragens (áreas mais frábil deste processo) será bastante dificultada, até mesmo o corpo d'água da represa.

Neste contexto, e com o recente advento das plataformas áreas não tripuladas, também conhecidas como VANT ou *drone*, o monitoramento e a fiscalização ambiental de barragens pode ser amplamente beneficiado, considerando-se a elevada resolução espacial obtidas nas tomadas de imagens aéreas com estes instrumentos (geralmente, com pixel na casa de 4 cm, empregando-se uma câmera digital comum com 12 megapixels, numa altura de voo de 130 metros, dependendo dos propósitos e condições de voo); com este tipo de informação é possível reconhecer com precisão a área afetada por um dos acidentes mencionados acima, facilitando o levantamento de provas e ação criminal de órgãos como o Ministério Público.

Justamente com este propósito, por meio de demanda do Ministério Público do Estado de Goiás (MP-GO) à Universidade Federal de Goiás / Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), o presente trabalho foi idealizado e conduzido nas proximidades do acidente com a barragem em Itaberaí-GO, com o objetivo de avaliar o potencial do VANT nesta aplicação, bem como os impactos ambientais causados por este ocorrido.



Figura 1. Dimensão dos impactos causados na vegetação nativa/pastagem, infraestrutura viária e na rede hidrográfica em decorrência do rompimento das barragens em Itaberaí - GO (fotos A e B) e em Santa Helena de Goiás - GO (fotos C e D). A foto A foi obtida a 130 metros de altura, em sobrevoo com VANT, ilustrando a área do reservatório em Itaberaí. Créditos: foto A, dos autores; fotos B, C e D, equipe de jornalismo do grupo Jaime Câmara.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em Itaberaí - Goiás, em sua zona rural, mais precisamente na área onde ocorreu o rompimento de uma barragem em afluente do rio Uru, em fevereiro de 2016, com coordenada geográfica central  $-16,011^{\circ}$  de Latitude e  $-49,753^{\circ}$  de Longitude, cruzando a rodovia GO 070. A figura 2 traz mais detalhes da área de estudo e sua localização no estado.

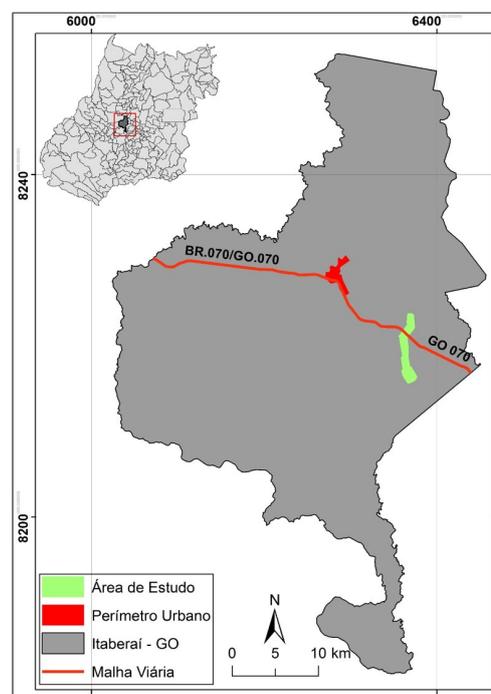


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo, em Itaberaí - GO.

## 2.2. Bases de dados e procedimentos de análise

Os levantamentos aéreos desta pesquisa foram realizados em parceria com o Ministério Público do Estado de Goiás (MP-GO), em duas etapas de campo, nos dias 25 (voos 1, 2 e 3) e 29 de abril (voos 4 e 5) de 2016, empregando-se um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) da Universidade Federal de Goiás/LAPIG. Sobre esta parceria, a universidade vem atendendo a demandas sociais/extensão como esta, ao mesmo tempo que difunde a tecnologia e aprimora os conhecimentos científicos de seus acadêmicos. O modelo de VANT utilizado foi o Swinglet CAM, fabricado pela empresa suíça Sensefly (mais informações em <https://www.sensefly.com/home.html>). O plano de voo foi realizado no programa E-motion (do acrônimo Electronic MONitoring staTION), enquanto que o Modelo Digital de Superfície (MDS) e os ortomosaicos foram confeccionados no programa Pix4D Mapper (mais informações em <https://pix4d.com>). Ao todo, foram realizados 5 sobrevoos na área, afim de recobrir o objeto de estudo (i.e., áreas comprometida pela represa, antes e após o seu rompimento).

Sobre o Swinglet CAM, trata-se de um microvante (i.e. abaixo de 25 kg) do tipo asa-fixa, com propulsor elétrico, projetado para voar em boas condições climáticas, suportando ventos com velocidade inferior a 25 km/h (aproximadamente 7 m/s). O Swinglet e seus componentes estão representados na Figura 2. Nota-se que a câmera digital é fixada no corpo da plataforma e, portanto, sujeita a todas as alterações de atitude (direção de voo -  $\kappa$ ; movimentos de asa -  $\omega$ ; e bico ou calda -  $\phi$ ), conforme destacado por Alves Jr. et al. (2015).

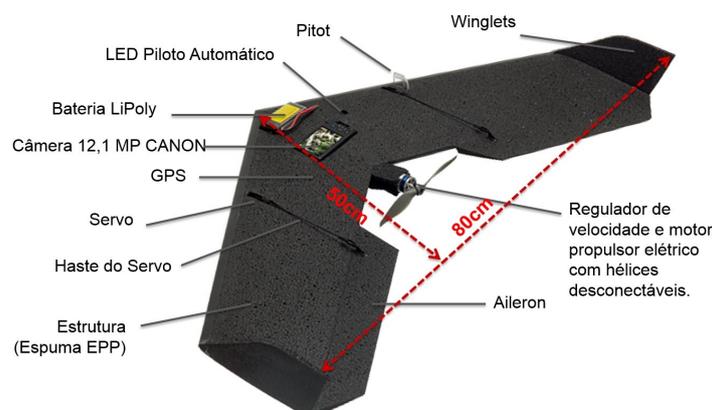


Figura 2. Vista superior do VANT Swinglet CAM. Adaptado de Sensefly (2012).

Ainda sobre os planos de voo, estes foram realizados em faixas com sobreposição lateral e longitudinal de 60%, cobrindo uma área total 847,45 hectares (contando-se os 5 voos). A câmera instalada no VANT foi a Canon IXUS 220 HS, sensor RGB visível, com resolução espacial de 12,1 megapixel, equipada com sensor tipo CMOS 1/2,3" (4000 x 3000 pixel), pixel pitch de 1,54  $\mu\text{m}$  e distância focal equivalente de 35 mm. O voo foi realizado a 330 metros de altura, com resolução espacial nominal de 10 cm (e real de 12 cm, devido às oscilações esperadas da aeronave). Cada um dos voos levou cerca de 25 a 30 minutos.

## 3. Resultados e discussões

Dentre os resultados obtidos, inicialmente destaca-se o mosaico ortorretificado completo (após processamento de cada um dos sobrevoos), recobrendo toda a área de estudo (cerca de 850 hectares), conforme apresentação na Figura 3. Com base nestas informações,

todas já georreferenciadas, foi possível mapear as áreas ambientalmente comprometidas, conforme elencadas na Tabela 1, dentre estas a área somente da represa (antes do rompimento da barragem), a área de APP degradada, a área alagada pela represa, incluindo sua porção a montante (antes de seu rompimento) e a extensão total da área afetada neste afluente do rio Uru (transecto latitudinal).

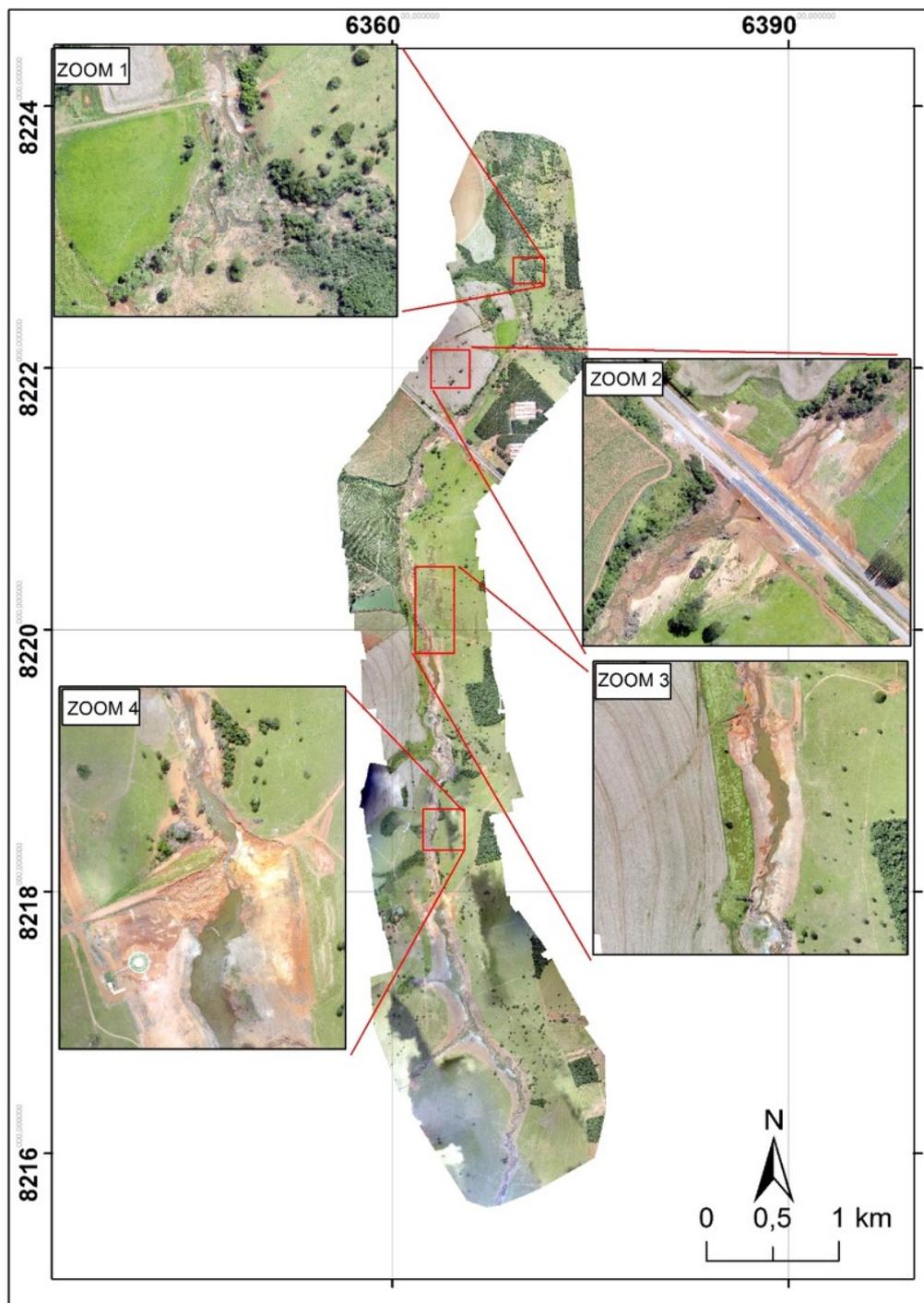


Figura 3. Ortomosaico completo da área de estudo, obtido com o VANT Swinglet CAM nos dias 25 e 29 de abril de 2016, com destaque para áreas danificadas a jusante da barragem rompida (zoom 1); área da rodovia GO 070, reformada após o rompimento (zoom 2); áreas de APPs comprometidas ao longo do afluente do rio Uru (zoom 3); e área da represa e barragem após o rompimento (zoom 4).

Nota-se que a área da represa, de 48 hectares, e sua área alagada antes do acidente, de 75 hectares, são bem superiores ao permitido pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás para este tipo de projeto/empreendimento (normalmente, fixado em licenças de até 20 hectares). Ou seja, além deste local não possuir licença ambiental, as informações levantadas pelo VANT evidenciaram um impacto significativamente maior para o município. A área de APP degradada, baseada no curso original de afluente do rio Uru (antes do seu represamento), indica também uma difícil recuperação da flora desta parcela (a longo prazo, com no mínimo 10 anos), sob responsabilidade do proprietário do referido estabelecimento rural. O custo médio para restauração de um hectare de mata nativa pode variar, dependendo das espécies, técnicas e suplementos, entre R\$ 3000,00 e R\$ 6.000,00. Se somadas as multas ambientais atribuídas ao proprietário, este custo pode ultrapassar facilmente 1 (hum) milhão de reais. Os dados de APP expostos na Tabela 1 estão representados cartograficamente na Figura 4, retratando a área antes e após rompimento da barragem, incluindo a área de represamento.

Tabela 1. Métricas ambientais extraídas do ortomosaico gerado pelo VANT Swinglet CAM.

Métrica avaliada	Área
Área original da represa	48,14 ha
Área de APP degradada	26,36 ha
Área alagada total (incluindo represa e região de influência a montante)	75 ha
Extensão da área afetada (latitudinal)	6 km

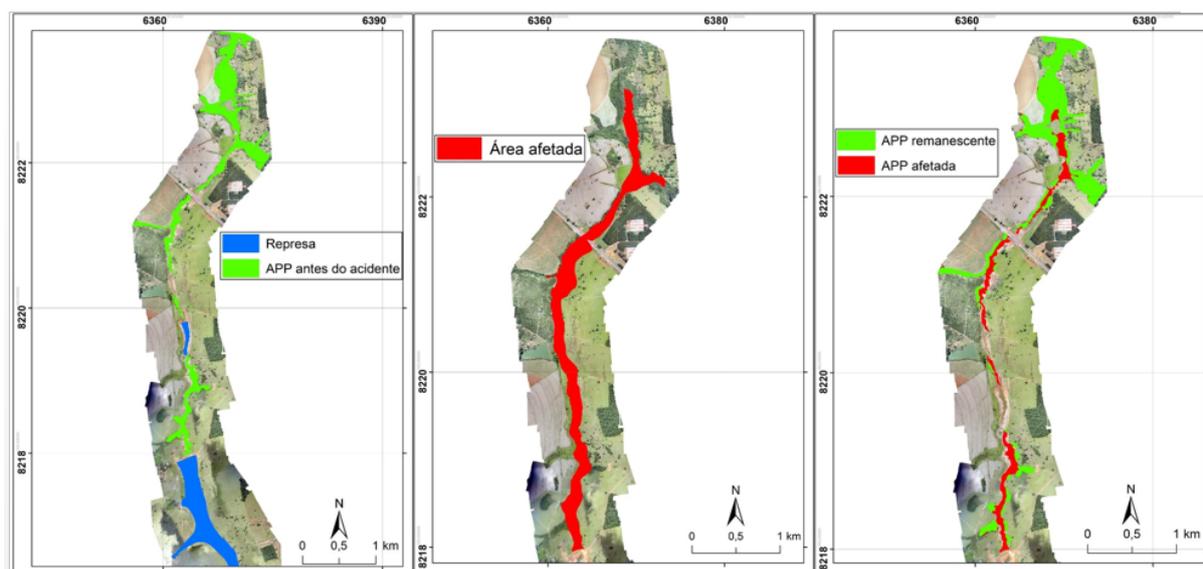


Figura 4. Representação cartográfica (carta-imagem obtida com VANT em sobrevoo nos dias 25 e 29 de abril de 2016) com a área de APP antes e após acidente da barragem de Itaberaí - GO, incluindo a área original da represa (primeiro quadro à esquerda).

Outro produto cartográfico obtido a partir deste imageamento com o VANT é o Modelo Digital de Superfície (MDS), complementar às análises realizadas com o mosaico ortorretificado, enriquecendo a perícia ambiental da área de estudo. A partir do MDS, outros subprodutos para a análise topográfica podem ser gerados, tais como: Modelo Digital de Terreno e de Elevação (i.e., ora ressaltando-se somente o terreno, sem árvores ou edificações,

ora com destaque apenas aos objetos acima do solo), mapa de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvas de nível, mapa de aspecto (direção das encostas), dentre outras modelagens (risco de deslizamento de terra, delineamento de canais hidrográficos, cálculo de volume/perda de solo, etc). Neste trabalho, dado o seu caráter preliminar, utilizou-se o MDS correspondente à área sobrevoada pelo VANT para a geração de um perfil topográfico transversal ao afluente do rio Uru (próximo ao rompimento da represa), além de um mapa de declividade (em graus), ambos ilustrados na Figura 5. Com base no mapa de declividade, nota-se um terreno predominantemente plano, com declives entre 0 e 5° para as áreas com pasto/cerrado nativo. Já nas proximidades do curso hidrográfico e áreas alagadas pelo represamento, a declividade varia entre 5 e 15°, acentuando-se para até 30° no canal de drenagem). Por sua vez, o perfil topográfico (na área indicada na Figura 5) traz uma variação altimétrica de 40 metros (740 a 780 metros), sendo 740 metros no ponto mais fundo da barragem (exatamente na metade do perfil, o qual conta com 1 km de extensão), 760 metros na margem oeste e 780 metros na margem leste, evidenciando a morfologia do terreno e a complexidade para a sua recuperação ambiental.

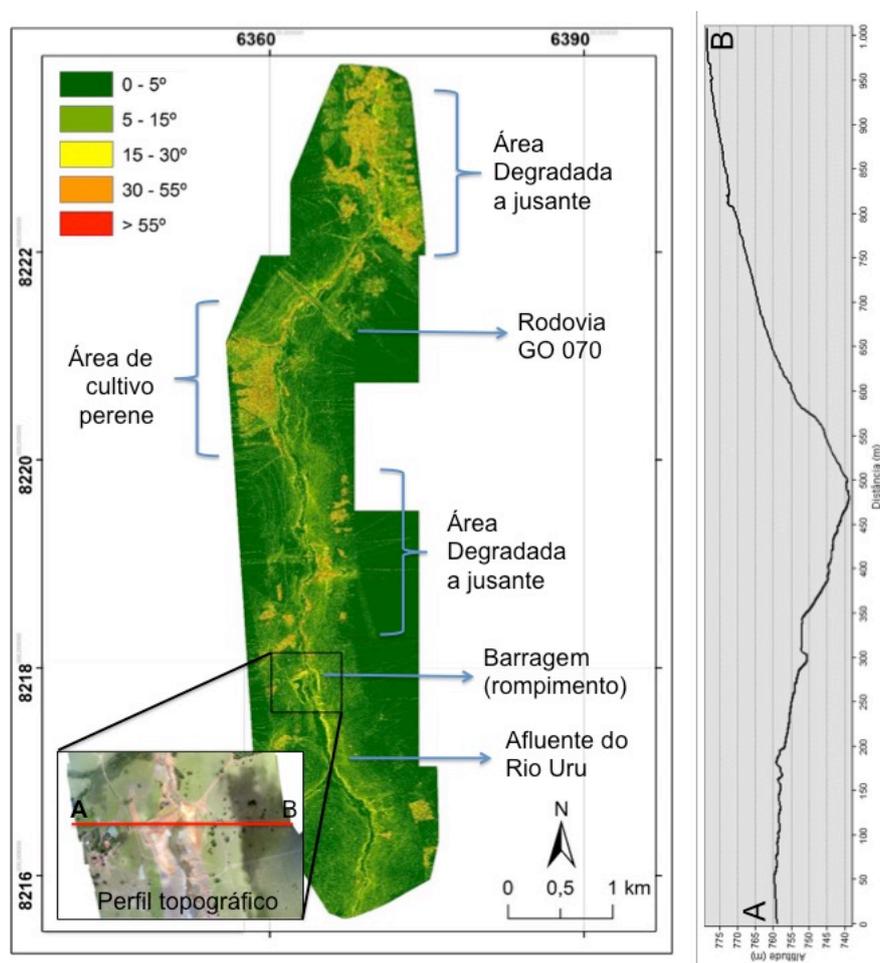


Figura 5. Mapa de declividade (MDS) obtido a partir de sobrevoo com VANT (Swinglet CAM) na barragem de Itaberaí-GO, com respectivo perfil topográfico sobre a antiga represa.

#### 4. Conclusões

A metodologia empregada neste estudo demonstrou ser de grande valia para se monitorar, fiscalizar e avaliar danos ambientais em Áreas de Preservação Permanente (APPs), incluindo o próprio represamento e acidentes com barragens em rios de menor ou maior extensão. O uso do VANT neste levantamento de campo propiciou um rápido e sinóptico

registro de provas ambientais, provando seu potencial para redução de custos e tempo em atividades periciais, aliado a uma elevada precisão nas avaliações, quando comparado aos métodos tradicionais. Com os resultados demonstrados, espera-se que os Veículos Aéreos Não Tripulados passem a equipar a infraestrutura de instituições como o Ministério Público (servindo de apoio aos seus peritos, analistas e promotores de justiça), IBAMA, ICMBio, além das Secretárias de Meio Ambiente, não só em Goiás, mas para outros estados brasileiros.

### Agradecimentos

À CAPES, pelo apoio na aquisição do VANT junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás (Pró-equipamentos CAPES 2012/2014). À Santiago & Cintra, Sensefly e Pix4D, pela parceria com a UFG/LAPIG. Ao Ministério Público do Estado de Goiás, pelo apoio nas logísticas de campo. O primeiro autor é bolsista de produtividade pelo CNPq.

### Referências Bibliográficas

Alves Jr., L. R.; Cortes, J. B. R.; Ferreira, M. E.; Silva, J. R. Validação de ortomosaicos e modelos digitais de superfície utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, p. 1453-1466, 2015.

Agência Brasil – EBC. Barragem se rompe no município de Itaberaí, em Goiás. Disponível em: <<http://radios.etc.com.br/revista-brasil/edicao/2016-02/rompeu-mais-uma-barragem-no-municipio-de-itabera-ha-quase-90-km-de>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

Botteon, V. W. **Aplicabilidade de ferramentas de geotecnologia para estudos e perícias ambientais**. Revista Brasileira de Criminalística. v. 5, n 1, p. 7 - 13, 2016.

Brancalion P. H. S.; Garcias, L. C.; Loyola, R.; Rodrigues, R. R.; Pillare, V. D.; Lewinsohn, T. M. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. **Natureza & Conservação**. v 14, p 1-15, 2016.

Portal G1. Duas represas se rompem, causam danos ambientais e morte de peixes. Disponível em: <<http://g1.globo.com/goias/noticia/2016/03/duas-represas-se-rompem-causam-danos-ambientais-e-morte-de-peixes.html>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

SECIMA – Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos metropolitanos. Disponível em: <<http://www.secima.go.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

Sensefly. **Manual do usuário Swinglet CAM** - Versão 2.0, março de 2012. 62 p.

Soriano, E.; Valencio, N. Riscos e desastres associados às barragens: os riscos referentes à Itaipu Binacional. In. NORMA VALENCIO (Org.) **Sociologia dos desastres: construção, interface e perspectivas no Brasil**. São Carlos, SP: RiMa, 2009. P. 146 - 159.